

УДК 006.3

Обеспечение единства измерений расхода и количества природного газа на основе стандартных справочных данных

А.Д. Козлов^{1*}, В.А. Колобаев¹

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы, Российская Федерация, 119361, г. Москва, ул. Озерная, д. 46

* E-mail: kozlov@vniims.ru

Ключевые слова: обеспечение единства измерений, стандартные справочные данные, средства измерений, метод измерений, относительная погрешность, расширенная неопределенность, свойства веществ и материалов, расход и количество природного газа, федеральный информационный фонд.

Тезисы. Работа посвящена применению стандартных справочных данных (ССД) для обеспечения единства измерений при операциях учета природного газа; приведены метрологические характеристики основных методов измерения расхода и количества природного газа, также перечислены соответствующие нормативно-технические документы.

Представлены данные о количестве утвержденных типов средств измерений расхода и количества природного газа, разработанных в таблицах ССД и методиках Государственной службы стандартных справочных данных (методиках ГСССД), предназначенных для обеспечения единства измерений при учетных операциях расхода и количества природного газа, указаны параметры природного газа, необходимые для измерения его расхода и количества.

Природный газ, нефтяной попутный газ, многокомпонентные газовые смеси, продукты их первичной и вторичной переработки занимают важное место в структуре современной экономики, поэтому обеспечение единства измерений их расхода и количества в промышленности и на транспорте имеет большое практическое значение, при этом важнейшим элементом технологической деятельности организаций, специализирующихся на добыче, транспортировке и переработке углеводородного топлива, является учет, который должен осуществляться в соответствии с требованием обеспечения единства измерений с целью получения достоверных результатов проводимых измерений расхода и количества природного газа.

Как известно, данные о расходе (количестве) углеводородов в нефтегазовом комплексе получают на основании измерений и обработки результатов этих измерений, а измерения расхода газа включают две составляющие: 1) результат измерений параметров потока газа для расчета расхода на их основе; 2) данные о свойствах (например, плотности) веществ при определенных параметрах измерения (температуре, давлении, компонентном составе и т.д.). Очевидно, что для получения наиболее точных результатов необходимо использовать средства измерений (СИ) утвержденных типов, которые, соответственно, имеют нормированные метрологические характеристики, а также иметь точные данные о свойствах измеряемых веществ и их компонентов, т.е. стандартные справочные данные (ССД), и методики их получения – методики Государственной службы стандартных справочных данных физических констант свойств веществ и материалов (далее – методики ГСССД), которые с целью обеспечения единства измерений внесены в программное обеспечение этих СИ.

Центральные вопросы учета – его достоверность и сведение баланса. Приведенные к стандартным условиям результаты измерений на узлах учета поставщика и суммарный объем газа, полученного потребителями, должны совпадать. Поскольку измерения проходящих объемов газа выполняются в различных условиях (при разных значениях температуры, плотности газа, давления), то результаты измерений должны быть приведены к единому стандартному условию, отвечающему ГОСТ 2939-63 «Газы. Условия для определения объема», а сами измерения должны осуществляться при строгом соблюдении требований к обеспечению единства измерений.

С учетом больших объемов транспортируемого газа погрешность (неопределенность) результатов измерений и расчетов является важнейшей величиной

(составляющей расчетов). Пределы допускаемой относительной погрешности измерений объема газа, приведенного к стандартным условиям, для СИ утвержденных типов (табл. 1) установлены в соответствии с приказом Минэнерго России от 15.03.2017 № 179, СТО Газпром 5.32-2009 «Организация измерений природного газа», МИ 3082-2007 «Выбор методов и средств измерений расхода и количества потребляемого природного газа в зависимости от условий эксплуатации на узлах учета. Рекомендации по выбору рабочих эталонов для их поверки».

Принятые на практике методы измерений расхода и количества природного газа приводятся в соответствие с разработанными нормативными документами: методиками (методами) выполнения измерений, национальными и межгосударственными стандартами с использованием ССД. Как правило, измерения осуществляются одним из следующих методов (рисунк):

- переменного перепада давления (сужающие устройства, осредняющие напорные трубки);

- измерения объемного расхода (объема) газа с помощью СИ объемного расхода (объема) (турбинных, камерных – ротационных и диафрагменных, вихревых, ультразвуковых, струйных) при рабочих условиях с последующим пересчетом к стандартным условиям;
- измерения массового расхода (массы) газа с помощью СИ массового расхода (корiolисовых, термоанемометрических – корпусных и погружных) с пересчетом к объемному расходу (объему) при стандартных условиях.

В табл. 2 представлены данные из Федерального информационного фонда по обеспечению единства измерений (по состоянию на 01.01.2019 г.) об утвержденных типах СИ расхода и количества газа с соответствующими погрешностями. Видно, что погрешности СИ утвержденных типов лежат в пределах нормы (см. табл. 1).

В табл. 3 раскрываются основные принципы работы СИ с учетом применяемых методов, а также указаны параметры, необходимые для измерения расхода и количества газа соответствующим методом.

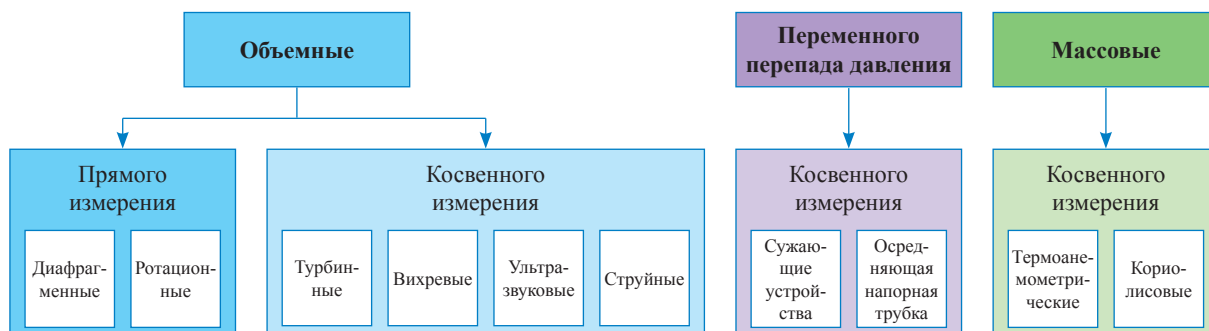
Для обеспечения точности перечисленных методов определения расхода и количества

Таблица 1

Пределы допускаемой относительной погрешности измерений объема газа, приведенного к стандартным условиям, для СИ утвержденных типов

Категория узла измерений в зависимости от расхода (рабочий расход, м³/ч)	Пределы допускаемых относительных погрешностей измерений количества газа, %			
	СТО 5.32-2009		МИ 3082-2007	Приказ № 179
	А	Б		
I (более 6000)	0,8	1,5	1,0	1,5
II (более 1200 до 6000 включительно)	0,8	1,5	1,5	2,5
III (более 60 до 1200 включительно)	0,8	2,0	2,5	3,0
IV (до 60 включительно)	0,8	2,0	от 3,0 до 4,0	4,0

Примечание: А – газоизмерительная станция, газораспределительная станция (ГРС), пункты замера расхода газа на границе России и между ПАО «Газпром» и независимыми поставщиками; Б – ГРС, автоматизированная газораспределительная станция и пункты, предназначенные для измерения объемов газа, поставляемого отечественным потребителям.



Классификация методов измерений расхода и количества природного газа

Таблица 2

**Данные об утвержденных типах СИ расхода и количества газа
в Государственном реестре СИ**

Метод измерений	Количество типов	Пределы допускаемых относительных погрешностей (номинальный расход), %
Диафрагменный	144	1,5...3,0
Ротационный	121	1,0...2,0
Турбинный	84	1,0...2,0
Вихревой объемный	106	1,0...2,5
Ультразвуковой	93	1,6...2,5
Струйный	56	1,5...3,0
Кориолисовый	37	1,0...2,0
Мембранный	71	1,5...4,0
Термоанемометрический	4	1,5...2,5

Таблица 3

Методы измерений расхода и количества газа:

ΔP – перепад давления, Па; P_V – абсолютное давление газа при рабочих условиях, Па;

T_V – температура газа при рабочих условиях, °С; ρ_c – плотность газа при стандартных условиях, кг/м³;

V – объем газа при рабочих условиях, м³; ρ_V – плотность газа при рабочих условиях, кг/м³;

q_m – массовый расход газа, кг/с; m – масса газа, кг; X_A , X_Y – молярные доли соответственно азота и диоксида углерода в природном газе, %

Метод измерений	Принцип работы СИ	Необходимые параметры
Диафрагменный	Перемещение подвижных перегородок измерительных камер под давлением измеряемого газа	ΔP , P_V , T_V , ρ_c , X_A , X_Y , состав газа
Ротационный	Вращение двух соосно расположенных роторов под воздействием поступающего газа	
Турбинный	Вращение турбинного колеса под воздействием потока измеряемого газа, скорость движения которого пропорциональна объемному расходу	ρ_V , P_V , T_V , ρ_c , X_A , X_Y , состав газа
Вихревой	Основан на зависимости частоты образования и срыва вихрей, возникающих при обтекании тел, размещенных в потоке, от расхода измеряемого газа	
Ультразвуковой	Основан на зависимости времени распространения ультразвуковых колебаний через поток измеряемого газа в трубопроводе заданного диаметра	
Струйный	Измерение частоты переключения струйного генератора, пропорциональной скорости (расходу) газа	ΔP , P_V , T_V , ρ_c , X_A , X_Y , состав газа
Переменного перепада давления	Основан на зависимости перепада давления, создаваемого устройством, установленным в трубопроводе, от расхода измеряемого газа	
Термоанемометрический	Основан на эффекте термической диффузии и зависимости массового расхода от изменения температуры при прохождении потока	q_m , m , ρ_c , состав газа
Кориолисовый	Измерение ускорения, сообщаемого потоку измеряемого газа колеблющимся трубопроводом и связанного с массовым расходом	

природного газа необходимы достоверные данные о теплофизических свойствах как отдельных компонентов, так и многокомпонентных смесей природного газа, в состав которых входят углеводороды гомологического ряда метана с общей формулой C_nH_{2n+2} , а также неуглеводородных компонентов – азота N_2 ,

воды H_2O , углекислого газа CO_2 , сероводорода H_2S , меркаптанов RSH , редкоземельных (инертных) газов (гелия, аргона, криптона, ксенона) R , ртути и др.

С учетом этих требований в отношении всех методов измерений расхода и количества природного газа, на основе которых действуют

СИ, разработаны нормативные технические документы (НТД) – ГОСТы, методики измерений, стандарты организаций, в состав которых для обеспечения единства измерений, как правило, входят данные о свойствах перекачиваемого газа на основе таблиц ССД и методик ГСССД.

НТД, применяемые при измерениях расхода и количества природного газа на основе ССД:

- **межгосударственные стандарты:**

1) ГОСТ 8.586.1-5-2005. Государственная система обеспечения единства измерений. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Ч. 1: Принцип метода измерений и общие требования. Ч. 2: Диафрагмы. Технические требования. Ч. 3: Сопла и сопла Вентури. Технические требования. Ч. 4: Трубы Вентури. Технические требования. Ч. 5: Методика выполнения измерений;

2) ГОСТ 8.611-2013. Расход и количество газа. Методика (метод) измерений с помощью ультразвуковых преобразователей расхода;

- **национальные стандарты:**

1) ГОСТ Р 8.740-2011. Государственная система обеспечения единства измерений. Расход и количество газа. Методика измерений с помощью турбинных, ротационных и вихревых расходомеров и счетчиков;

2) ГОСТ Р 8.741-2011. Государственная система обеспечения единства измерений. Объем природного газа. Общие требования к методам измерений;

3) ГОСТ Р 8.770-2011. Государственная система обеспечения единства измерений. Газ природный. Коэффициент динамической вязкости сжатого газа с известным компонентным составом. Метод расчетного определения;

- **стандарты организаций, рекомендации по метрологии:**

1) СТО Газпром 5.2-2005. Расход и количество природного газа. Методика выполнения измерений с помощью ультразвуковых преобразователей расхода;

2) СТО Газпром 5.32-2009 (см. ранее);

3) МИ 3082-2007 (см. ранее);

4) МИ 2667-2011. Расход и количество жидкостей и газов. Методика измерений с помощью осредняющих напорных трубок «annubar diamond ii+», «annubar 285», «annubar 485», «annubar 585». Основные положения.

Обеспечение единства измерений на основе данных о свойствах веществ и материалов

входит в компетенцию ГСССД, которая действует в соответствии с требованиями Федерального закона «Об обеспечении единства измерений» от 26.06.2008 № 102-ФЗ и обеспечивает разработку и аттестацию стандартных справочных данных и методик их получения с целью обеспечения на их основе единства измерений в науке, технике и технологиях. В числе приоритетных направлений деятельности ГСССД разработка таблиц ССД и методик ГСССД в области энергетики и энергообеспечения.

В настоящее время разработаны и утверждены для добычи, переработки, транспортировки нефти и газа в интересах нефтегазового комплекса 40 таблиц ССД и 49 методик ГСССД. В списке литературы приводится перечень наиболее значимых утвержденных таблиц ССД [1–9] и аттестованных методик ГСССД [10–17] для определения расхода и количества природного газа.

При разработке применяемых с целью определения расхода и количества природного газа таблиц ССД и методик ГСССД для обеспечения гарантированной точности используются международные ГОСТы серии ИСО, межгосударственные стандарты, научные данные о свойствах веществ и материалов, полученные экспериментальным способом с приведенными погрешностями и неопределенностями. Разработанные проекты ССД подвергаются экспертизе и в дальнейшем утверждаются Росстандартом, что в конечном итоге обеспечивает достоверность ССД.

Для обеспечения единства измерений при разработке ССД по природному газу используются следующие стандарты:

- ISO 20765-2-2015. Natural gas – Calculation of thermodynamic properties – Part 2: Single-phase properties (gas, liquid, and dense fluid) for extended ranges of application (Природный газ. Расчет термодинамических свойств. Ч. 2: Свойства в однофазных областях);

- ГОСТ 30319.1-2015. Газ природный. Методы расчета физических свойств. Общие положения;

- ГОСТ 30319.2-2015. Вычисление физических свойств на основе данных о плотности при стандартных условиях и содержании азота и диоксида углерода;

- ГОСТ 30319.3-2015. Вычисление физических свойств на основе данных о компонентном составе;

- ГОСТ 34100.3-2017ю Неопределенность измерения. Ч. 3: Руководство по выражению неопределенности измерения.

ССД следует рассматривать как нормативно-справочные данные, обязательные для применения производителями, транспортными и перерабатывающими компаниями и потребителями углеводородов, так как они обеспечивают единство измерений с максимальной точностью. ССД необходимо применять при разработке следующих НТД, регламентирующих учет расхода и количества природного газа:

- ГОСТов, рекомендаций по стандартизации и метрологии, предназначенных для применения в области учета расхода и количества природного газа;
- стандартов организаций и предприятий, занимающихся добычей, транспортировкой и переработкой природного газа;
- технических условий и описаний типа утверждаемых СИ расхода и количества природного газа;
- методик (методов) измерений, утверждаемых для применения в операциях учета природного газа.

Исходя из практического значения ССД в рамках дорожной карты по выполнению плана мероприятий по реализации Стратегии обеспечения единства измерений в Российской Федерации до 2025 года подготовлены предложения по изменению статьи 5 Федерального

закона № 102-ФЗ об использовании ССД в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений при проведении измерений свойств веществ и материалов.

В 2019–2020 гг. планируется разработать следующие таблицы ССД и методики ГСССД:

- Таблица ССД. Этилен жидкий и газообразный. Термодинамические свойства, коэффициенты динамической вязкости и теплопроводности при температурах 104...450 К и давлениях до 100 МПа;
- Таблица ССД. Этанол жидкий и газообразный. Термодинамические свойства, коэффициенты динамической вязкости и теплопроводности при температурах 160...650 К и давлениях до 100 МПа;
- Таблица ССД. Бензол жидкий и газообразный. Термодинамические свойства, коэффициенты динамической вязкости и теплопроводности при температурах 280...725 К и давлениях до 100 МПа;
- Методика ГСССД. Методика расчетного определения термодинамических свойств и коэффициента динамической вязкости изобутана при температурах от 114 К до 600 К и давлениях до 35 МПа;
- Методика ГСССД. Методика расчетного определения термодинамических свойств и коэффициента динамической вязкости н-бутана при температурах от 135 до 600 К и давлениях до 70 МПа.

Список литературы

1. ГСССД 338-2018. Нормальный бутан жидкий и газообразный. Термодинамические свойства, коэффициенты динамической вязкости и теплопроводности при температурах от 135 К до 600 К и давлениях до 70 МПа.
2. ГСССД 337-2018. Изобутан жидкий и газообразный. Термодинамические свойства, коэффициенты динамической вязкости и теплопроводности при температурах от 114 К до 600 К и давлениях до 35 МПа.
3. ГСССД 332-2017. Пропан жидкий и газообразный. Термодинамические свойства, коэффициенты динамической вязкости и теплопроводности при температурах от 86 К до 700 К и давлениях до 100 МПа.
4. ГСССД 331-2017. н-Декан. Теплофизические свойства (плотность, теплоемкость, энтальпия, энтропия, скорость звука, коэффициенты теплопроводности и вязкости) в диапазоне температуры от тройной точки до 700 К при давлениях до 100 МПа.
5. ГСССД 318-2017. Этан жидкий и газообразный. Термодинамические свойства, коэффициенты динамической вязкости и теплопроводности при температурах от 91 К до 675 К и давлениях до 100 МПа.
6. ГСССД 316-2015. н-Октан. Теплофизические свойства (плотность, теплоемкость, энтальпия, энтропия, скорость звука, коэффициенты теплопроводности и вязкости) в диапазоне температуры от тройной точки до 700 К.
7. ГСССД 301-2014. п-Ксилол. Теплофизические свойства (плотность, теплоемкость, энтальпия, энтропия, скорость звука, коэффициенты теплопроводности и вязкости) в диапазоне температуры от тройной точки до 700 К при давлениях до 100 МПа.
8. ГСССД 298-2013. Теплофизические свойства газового конденсата Шуртанского месторождения на линии начала кипения (линии насыщения) и в жидкой фазе в диапазоне температур от 250 К до 600 К при давлениях до 60 МПа.

9. ГСССД 284-2013. Метан жидкий и газообразный. Термодинамические свойства, коэффициенты динамической вязкости и теплопроводности при температурах от 91 К до 700 К и давлениях до 100 МПа.
10. ГСССД МР 273-2018 (взамен ГСССД МР 113-03). Методика расчетного определения плотности, фактора сжимаемости, скорости звука, показателя адиабаты и коэффициента динамической вязкости влажных газовых смесей в диапазоне температур от 263 К до 500 К при давлениях до 30 МПа.
11. ГСССД МР 272-2017. Методика расчетного определения теплофизических свойств нефтяного попутного газа в диапазонах температур от 30 °С до 50 °С и давлений от 14 до 27 МПа.
12. ГСССД МР 244-2015. Методика расчетного определения термодинамических свойств и коэффициента динамической вязкости пропана при температурах от 86 К до 650 К и давлениях до 100 МПа.
13. ГСССД МР 243-2015. Методика расчетного определения термодинамических свойств и коэффициента динамической вязкости этана при температурах от 91 К до 675 К и давлениях до 100 МПа.
14. ГСССД МР 229-2014. Методика расчетного определения термодинамических свойств и коэффициента динамической вязкости природного газа при температурах от 250 К до 350 К и давлениях до 30 МПа на основе ГОСТ Р 8.662-2009 и ГОСТ Р 8.770-2011.
15. ГСССД МР 136-07. Расчет плотности, показателя адиабаты и коэффициента динамической вязкости газовых водородосодержащих смесей в диапазоне температур от –15 °С до 250 °С и давлениях до 30 МПа.
16. ГСССД МР 118-05. Расчет плотности, фактора сжимаемости, показателя адиабаты и коэффициента динамической вязкости умеренно-сжатых газовых смесей.
17. ГСССД МР 116-04. Расчет фазового равновесия многокомпонентных углеводородных смесей в диапазоне температур от 100 К до 450 К при давлениях до 30 МПа.

Assuring measurement uniformity of natural gas flow rates and amounts by means of the standard reference data

A.D. Kozlov^{1*}, V.A. Kolobayev¹

¹ All-Russian Scientific Research Institute of Metrological Service, Bld. 46, Ozernaya street, Moscow, 119361, Russian Federation

* E-mail: kozlov@vniims.ru

Abstract. The article describes application of standard reference data for assurance of measurement uniformity during accounting natural gas flows. There are the metrological characteristics of basic procedures for measuring of flow rates and quantities of natural gas; the correspondent standards and regulations are listed.

There are figures on quantity of the certified types of instruments for measuring flow rate and amount of natural gas, on ready tables of standard reference data and procedures of the State Service for Standard Reference Data on Physical Constants and Properties of Substances and Materials (GSSSD) assuring measurement uniformity during accounting of gas amounts. Parameters of natural gas necessary for measuring of its amounts and flow rates in case of each measuring procedure are named.

Keywords: assurance of measurement uniformity, standard reference data, measuring instruments, measuring procedure, relative error, expanded uncertainty, properties of substances and materials, flow rate and amount of natural gas, federal information corpus.

References

1. GSSSD 338-2018. *Tables of Standard Reference Data. n-Butane Liquid and Gaseous. Thermodynamic properties, dynamic viscosity and thermal conductivity at temperatures from 135...600 K and pressures up to 70 MPa.* Moscow: State Service for Standard Reference Data on Physical Constants and Properties of Substances and Materials, 2018. (Russ.).
2. GSSSD 337-2018. *Tables of Standard Reference Data. i-Butane Liquid and Gaseous. Thermodynamic properties, dynamic viscosity and thermal conductivity at temperatures from 114...600 K and pressures up to 35 MPa.* Moscow: State Service for Standard Reference Data on Physical Constants and Properties of Substances and Materials, 2018. (Russ.).
3. GSSSD 332-2017. *Tables of Standard Reference Data. Propane Liquid and Gaseous. Thermodynamic properties, dynamic viscosity and thermal conductivity at temperatures from 86...700 K and pressures up to 100 MPa.* Moscow: State Service for Standard Reference Data on Physical Constants and Properties of Substances and Materials, 2017. (Russ.).

4. GSSSD 331-2017. *Tables of Standard Reference Data. n-Decane. Thermophysical properties (density, heat capacity, enthalpy, entropy, sound velocity, thermal conductivity and viscosity coefficients) for the temperature range from the triple point to 700 K at pressures up to 100 MPa.* Moscow: State Service for Standard Reference Data on Physical Constants and Properties of Substances and Materials, 2017. (Russ.).
5. GSSSD 318-2017. *Tables of Standard Reference Data. Ethane Liquid and Gaseous. Thermodynamic properties, dynamic viscosity and thermal conductivity at temperatures from 91...657 K and pressures up to 100 MPa.* Moscow: State Service for Standard Reference Data on Physical Constants and Properties of Substances and Materials, 2017. (Russ.).
6. GSSSD 316-2015. *Tables of Standard Reference Data. n-Octane. Thermophysical properties (density, heat capacity, enthalpy, entropy, sound velocity, thermal conductivity and viscosity coefficients) for the temperature range from the triple point to 700 K.* Moscow: State Service for Standard Reference Data on Physical Constants and Properties of Substances and Materials, 2015. (Russ.).
7. GSSSD 301-2014. *Tables of Standard Reference Data. p-Xylene. Thermophysical properties (density, heat capacity, enthalpy, entropy, sound velocity, thermal conductivity and viscosity coefficients) for the temperature range from the triple point to 700 K at pressures up to 100 MPa.* Moscow: State Service for Standard Reference Data on Physical Constants and Properties of Substances and Materials, 2014. (Russ.).
8. GSSSD 298-2013. *Tables of Standard Reference Data. Thermophysical properties of the gas condensate of Shurtan field on the start line boiling (saturation line) and in the liquid phase in the temperature range 250...600 K at pressures up to 60 MPa.* Moscow: State Service for Standard Reference Data on Physical Constants and Properties of Substances and Materials, 2013. (Russ.).
9. GSSSD 284-2013. *Tables of Standard Reference Data. Methane Liquid and Gaseous. Thermodynamic properties, dynamic viscosity and thermal conductivity at temperatures from 91...700 K and pressures up to 100 MPa.* Moscow: State Service for Standard Reference Data on Physical Constants and Properties of Substances and Materials, 2013. (Russ.).
10. GSSSD MR 273-2018. *Guidelines. Procedure for calculation of density, compressibility factor sound velocity, adiabatic exponent and dynamic viscosity for wet gas mixtures in the temperature range of 263...500 K at pressures up to 30 MPa (instead of GSSSD MR 113-03)* [Metodika raschetnogo opredeleniya plotnosti, faktora szhimayemosti, skorosti zvuka, pokazatelya adiabaty i koeffitsiyenta dinamicheskoy vyazkosti vlazhnykh gazovykh smesey v diapazone temperatur ot 263 K do 500 K pri davleniy do 30 MPa (vzamen GSSSD MR 113-03)]. Moscow: State Service for Standard Reference Data on Physical Constants and Properties of Substances and Materials, 2018. (Russ.).
11. GSSSD MR 272-2017. *Guidelines. Procedure for calculation of thermophysical properties of associated petroleum gas in the temperature ranges of 30...50 °C and pressure range of 14...27 MPa* [Metodika raschetnogo opredeleniya teplofizicheskikh svoystv neftyanogo poputnogo gaza v diapazonakh temperatur ot 30 °C do 50 °C i davleniy ot 14 do 27 MPa]. Moscow: State Service for Standard Reference Data on Physical Constants and Properties of Substances and Materials, 2017. (Russ.).
12. GSSSD MR 244-2015. *Guidelines. Procedure for calculation of thermodynamic properties and dynamic viscosity of propane at temperatures from 86...650 K and pressures up to 100 MPa* [Metodika raschetnogo opredeleniya termodinamicheskikh svoystv i koeffitsiyenta dinamicheskoy vyazkosti propana pri temperaturakh ot 86 K do 650 K i davleniyakh do 100 MPa]. Moscow: State Service for Standard Reference Data on Physical Constants and Properties of Substances and Materials, 2015. (Russ.).
13. GSSSD MR 243-2015. *Guidelines. Procedure for calculation of thermodynamic properties and dynamic viscosity of ethane at temperatures from 91...675 K and pressures up to 100 MPa* [Metodika raschetnogo opredeleniya termodinamicheskikh svoystv i koeffitsiyenta dinamicheskoy vyazkosti etana pri temperaturakh ot 91 K do 100 K i davleniyakh do 100 MPa]. Moscow: State Service for Standard Reference Data on Physical Constants and Properties of Substances and Materials, 2015. (Russ.).
14. GSSSD MR 229-2014. *Guidelines. Procedure for calculation of thermodynamic properties and dynamic viscosity of natural gas at temperatures from 250...350 K and pressures up to 30 MPa on the basis of GOST R 8.662-2009 and GOST R 8.770-2011* [Metodika raschetnogo opredeleniya termodinamicheskikh svoystv i koeffitsiyenta dinamicheskoy vyazkosti prirodnogo gaza pri temperaturakh ot 250 K do 350 K i davleniyakh do 30 MPa na osnove GOST R 8.662-2009 i GOST R 8.770-2011]. Moscow: State Service for Standard Reference Data on Physical Constants and Properties of Substances and Materials, 2014. (Russ.).
15. GSSSD MR 136-07. *Guidelines. Calculating density, adiabatic exponent and dynamic viscosity for hydrogenous gas mixtures in the temperature range of -15...250 °C and pressures up to 30 MPa* [Raschet plotnosti, pokazatelya adiabaty i koeffitsiyenta dinamicheskoy vyazkosti gazovykh vodorodosoderzhashchikh smesey v diapazone temperatur ot -15 °C do 250 °C i davleniy do 30 MPa]. Moscow: State Service for Standard Reference Data on Physical Constants and Properties of Substances and Materials, 2007. (Russ.).
16. GSSSD MR 118-05. *Guidelines. Calculating density, compressibility factor, adiabatic exponent and dynamic viscosity for moderately dense gas mixtures* [Raschet plotnosti, faktora szhimayemosti, pokazatelya adiabaty i koeffitsiyenta dinamicheskoy vyazkosti umerenno-szhatykh gazovykh smesey]. Moscow: State Service for Standard Reference Data on Physical Constants and Properties of Substances and Materials, 2005. (Russ.).
17. GSSSD MR 116-04. *Guidelines. Calculating phase equilibria of multicomponent hydrocarbon mixtures in the temperature range 100...450 K at pressures up to 30 MPa* [Raschet fazovogo ravnovesiya mnogokomponentnykh uglevodorodnykh smesey v diapazone temperatur ot 100 K do 450 K pri davleniyakh do 30 MPa]. Moscow: State Service for Standard Reference Data on Physical Constants and Properties of Substances and Materials, 2004. (Russ.).